

ATTORNEY DOCKET NO.: 70396

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Applicant : HOFMANN
Serial No :
Confirm No :
Filed :
For : METHOD FOR...
Art Unit :
Examiner :
Dated : December 6, 2001

1c618 U.S. PTO
10/013112
12/06/01

Hon. Commissioner of Patents
and Trademarks
Washington, D.C. 20231

PRIORITY DOCUMENT

In connection with the above-identified patent application, Applicant herewith submits
a certified copy of the corresponding basic application filed in

Germany

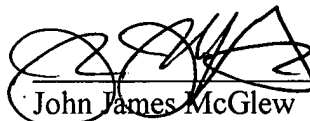
Number: 100 62 228.3

Filed: 13/Dec./2000

the right of priority of which is claimed.

Respectfully submitted
for Applicant(s),

By:


John James McGlew

Reg. No.: 31,903

McGLEW AND TUTTLE, P.C.

JJM:tf

Enclosure: - Priority Document
70396.3



Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen: 100 62 228.3

Anmeldetag: 13. Dezember 2000

Anmelder/Inhaber: KUKA Roboter GmbH,
Augsburg/DE

Bezeichnung: Verfahren zum Überprüfen der Bremse
eines Elektromotors

IPC: G 01 L, H 02 P

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 25. Oktober 2001
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Agurks

PATENTANWÄLTE

DIPL.-ING. **HEINER LICHTI**

DIPL.-PHYS. DR. RER. NAT. **JOST LEMPERT**

DIPL.-ING. **HARTMUT LASCH**

D-76207 KARLSRUHE (DURLACH)
POSTFACH 410760

TELEFON: (0721) 9432815 TELEFAX: (0721) 9432840

KUKA Roboter GmbH
Blücherstraße 144

86165 Augsburg

08. Dezember 2000
18174.8 Le/bu

Verfahren zum Überprüfen der Bremse eines Elektromotors

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Überprüfen der Bremse eines Elektromotors.

- 5 Bremsen, die bei Servoantrieben, wie bei drehzahlgeregelten Motorantrieben eines Roboters, eingesetzt werden, haben eine Sicherheitsfunktion im Rahmen der Bremsunterstützung bei Notbremsungen, Festbremsung von Maschinenachsen im an-
- 10 trieblosen bzw. stromlosen Zustand, -gegebenenfalls- gegen die Gravitationskraft etc. Die Funktionstüchtigkeit der Bremsen muss daher immer sichergestellt sein. Da solche Bremsen, insbesondere bei zeitweiliger dynamischer Beanspruchung, wie bei einer Bremsunterstützung bei Notbremsungen, Verschleiß unterliegen, ist eine Überwachung ihrer Ei-
- 15 genschaften erforderlich. Aus Sicherheitsgründen werden vorwiegend elektromagnetische Bremsen mit Federvorspannung eingesetzt, bei denen die Bremswirkung durch Kompensation eines Permanent-Magnetfeldes bei Anlegen einer Steuerspannung aufgehoben wird. Die Erfindung ist hierauf aber nicht
- 20 eingeschränkt.

Die EP 924 538 A2 sieht ein Verfahren und eine Anordnung zur Überprüfung von Motorbremsen vor, bei dem bei stillstehendem Motor die Bremse aktiviert wird, kurzzeitig eine Anlaufspannung eingeschaltet wird und anschließend der Motorstrom mit einem vorgegebenen Sollwert verglichen wird, wodurch bei unerwünschten Abweichungen eine Fehlfunktion der Bremse erkannt und entsprechende Maßnahmen zur Herstellung eines sicheren Betriebszustandes des Elektromotors durchgeführt werden. Der Vergleichssollwert muss jeweils so gewählt werden, dass auch bei der relativen großen Streubreite eines Bremsmoments in jedem Falle eine sichere Abschaltung erfolgt. Bei dem beschriebenen Vorgehen kann eine Überwachung der Veränderung des Zustandes der Bremse unter Berücksichtigung der großen Streubreite bei unterschiedlichen Bremsen nicht durchgeführt werden, insbesondere auch nicht hinsichtlich der Einflüsse von Temperatur und Verschmutzung, Abrieb und anderen Alterungseffekten so wie eines vorzeitigen Verschleißes durch dynamische Bremsvorgänge.

20

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Überwachung der Veränderung der Eigenschaften einer Bremse vorzuschlagen, das während des Betriebs des Motors, wie beispielsweise bei einem Roboter, durchgeführt werden kann.

25

Erfindungsgemäß wird die genannte Aufgabe mit einem Verfahren der eingangs genannten Art gelöst, welches dadurch gekennzeichnet ist, dass in einer Messsequenz im drehzahlgeordneten Betrieb die Bremse für kurze Zeit zum Einfallen gebracht wird, mindestens während dieser Zeit ein Motorstrom gemessen und aufgrund der so gewonnenen Messdaten das Bremsmoment der Bremse bestimmt wird. Der Motorstrom wird vorzugsweise über eine volle Messsequenz gewonnen.

35

Während beim Stand der Technik der Motor zur Überprüfung der Bremse stillgesetzt und dann der Überprüfungsvorgang eingeleitet wird, sieht die Erfindung eine Überprüfung der Funktion der Bremse und damit der Änderung ihres Verhaltens
 5 im drehzahlgeregelten Betrieb vor, indem in diesem die Bremse für kurze Zeit und gegebenenfalls mehrmals, zum Einfallen gebracht und aufgrund der gewonnenen Messdaten das Bremsmoment der Bremse bestimmt wird, wobei das Messergebnis dann bei späteren Überprüfungen zum Vergleich herangezogen werden kann.
 10

Das Bremsmoment wird aufgrund der unterschiedlichen Motormomente bei eingefallener und gelüfteter Bremse bestimmt. Dabei kann gemäß einer bevorzugten Ausgestaltung vorgesehen
 15 sein, dass das Motormoment mittels der Messung des Motorstromes bestimmt wird, wobei insbesondere das Bremsmoment M_{Br} bestimmt wird durch $I_2 \cdot K_{T2} - I_1 \cdot K_{T1}$, wobei I_1 , I_2 Motorströme bei offener bzw. eingefallener Bremse und K_{T1} , K_{T2} die zugehörigen Momentenkonstanten des Motors beim Strom I_1
 20 bzw. I_2 sind.

Eine weitere bevorzugte Ausgestaltung der Erfindung sieht vor, dass die Bremse für weniger als eine Sekunde, insbesondere als solcher quantitativ, d.h. seiner Größe nach lediglich über wenige Zehntel Sekunden einfällt. Dabei kann
 25 weiterhin vorgesehen sein, dass in einer Messsequenz der Bremseinfall wiederholt wird und dass eine Umkehr der Drehrichtung des Motors zwischen Bremseinfällen oder nach Gruppen von Bremseinfällen bei gleicher Drehrichtung vorgenommen wird. Auch kann in dem Spezialfall, in dem ein Gravitationsmoment vorhanden ist, wie beispielsweise bei Bewegungen um die A2- oder A3-Achse eines Roboters vorgesehen
 30 sein, dass die Messung bei einer Bewegung des Roboters durchgeführt wird, die durch ein gegebenenfalls vorhandenes Gravitationsmoment unterstützt wird.
 35

Zur Berücksichtigung der Motor- bzw. Bremsentemperatur T_{Br} , wobei die Motortemperatur als repräsentativ für die Bremsentemperatur angesehen wird, kann vorgesehen sein, dass diese mitgemessen und zur Korrektur des ermittelten Bremsmomentes herangezogen wird.

Weitere Ausgestaltungen des erfindungsgemäßen Verfahrens sehen vor, dass die Messdaten aufgezeichnet werden, wobei darüber hinaus die Daten angezeigt oder ausgedruckt werden können. In Weiterbildung kann vorgesehen sein, dass die Messdaten verschiedener Messsequenzen automatisch verglichen werden.

Weitere Vorteile und Merkmale ergeben sich aus dem Ausführungsbeispiel der Erfindung, das unter Bezugnahme auf die Zeichnung im einzelnen erläutert ist. Dabei zeigt bzw. zeigen:

Fig. 1a-c Diagramme zur Bremsenansteuerung (Fig. 1a), zum Motorstrom (Fig. 1b) und zum Drehzahlverhalten (Fig. 1c) des Motors;

Fig. 2 ein Ablaufdiagramm einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens;

Fig. 3 ein Prinzipschaltbild für eine bevorzugte Ausgestaltung einer Einrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens.

Die Fig. 1a stellt die Bremsenansteuerung im Rahmen der Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens zum Prüfen der Bremse eines Elektromotors dar. Auf der Abszisse ist (wie auch bei den Fig. 1b und 1c) die Zeit aufgetragen während in der Fig. 1a auf der Ordinate die Bremsenlösespan-

nung U_{br} aufgetragen ist. Bei maximaler Bremsenlösespannung wird das Feld eines Permanentmagneten kompensiert und die Bremse durch Federkraft geöffnet, während bei Bremsenlösespannung 0 die Bremse eingefallen, geschlossen ist und damit ein Bremsmoment ausübt. In den Zeitabschnitten 1a, 1c, 1e ist die Bremse damit geöffnet und in den Zeitabschnitten 1b und 1d geschlossen.

Die Fig. 1b zeigt den Stromverlauf des Motors über eine komplette Bewegungssequenz. Zunächst wird der Motor mit einem relativ großen Strom im Zeitintervall 1a₁ auf seine Soll-Drehzahl (Fig. 1c) hochgefahren, was sich in der Fig. 1c in einem Anstieg der Drehzahl widerspiegelt. Nach Erreichen der gewünschten Drehzahl wird diese im Zeitintervall 1a₂ mit einem geringeren Motorstrom aufrecht erhalten. Im Zeitintervall 1b, in dem die Bremse eingefallen ist, steigt der Strom I aufgrund der Drehzahlregelung zur Aufrechterhaltung der gewünschten Solldrehzahl stark an. Die Drehzahl bricht in diesem Bereich leicht ein, was im Diagramm selbst nicht dargestellt ist, aber durch die Regelung sogleich wieder auf den Sollwert geregelt wird. Nach erneutem Lösen der Bremse fällt der Strom zur Aufrechterhaltung der Drehzahl im Zeitintervall 1c₁ wieder auf seinen ursprünglichen Wert (Intervall 1a₂). Im Intervall 1c₂ erfolgt ein Herunterfahren des Motors bis zum Stillstand (Abfall der Drehzahl N in der Fig. 1c bis auf Null). In der weiteren Hälfte der Diagramme der Figuren 1b bis 1c erfolgt der gleiche Ablauf bei umgekehrter Drehrichtung.

Zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens erfolgt bei laufendem Antrieb ein Starten 2 des Bremsentests (Fig. 2). Hierzu erfolgt zunächst eine Anpassung 3 der Maschinendaten des Roboters und insbesondere der Steuerung des Motors sowie der Überwachungsparameter des Roboters. Dies beinhaltet, dass die Überwachung Abweichungen aufgrund der

Messung, wie bei leichtem Einbruch der Drehzahl durch das Bremsen, ohne Fehlermeldung und Abschaltung toleriert. Bei Fahren 4 der entsprechenden Achse, vorzugsweise mit konstanter kleiner Drehzahl, werden die wesentlichen Parameter, wie Fahrstrom, Drehzahl, Temperatur, den Bremsensteuerungszustand im Intervall 1a₂ (Fig. 1b, 1c) aufgezeichnet 4a. Anschließend erfolgt ein kurzzeitiges Schließen 6 der Bremse über wenige Zehntel Sekunden (Intervall 1b der Fig. 1a), währenddessen wiederum eine Aufzeichnung 6a der entsprechenden Parameter erfolgt. Im weiteren Ablauf erfolgt wiederum ein Öffnen 7 der Bremse und ein erneutes Messen 7a und Aufzeichnen der genannten Parameter.

Im Rahmen einer Messsequenz kann eine mehrfache Wiederholung 8 dieses Ablaufs bis zu einer vorgegebenen Anzahl x erfolgen. Darüber hinaus kann entweder nach jeder vorstehend geschilderten Sequenz oder aber nach einer vorgegebenen Anzahl x eine Umkehrung 9 der Drehrichtung des Motors und die Durchführung der Mess- und Testsequenz in umgekehrter Drehrichtung erfolgen.

Nach Durchführung der gewünschten Anzahl der Messsequenzen erfolgt ein Zurückschalten 10 auf die Betriebs-Maschinen-daten. Anschließend erfolgt eine Auswertung 11 der Aufzeichnung, gegebenenfalls unter Heranziehung früherer Messdaten 12 sowie die Abspeicherung des gewonnenen Ergebnisses. Schließlich erfolgt die Beendigung 13 des Bremsentests.

Das für den Zustand der Bremse charakteristische Bremsmoment wird dabei aus der Differenz zwischen dem Motormoment

bei eingefallener und bei offener Bremse und damit gemäß

$$M_{Br} = I_2 * K_{T2} - I_1 * K_{T1}$$

- 5 berechnet, wobei I_1 , I_2 die Motorströme bei offener bzw. eingefallener Bremse, K_{T1} , K_{T2} die Momentenkonstanten des Motors beim Strom I_1 bzw. I_2 sind.

- Die Momentenkonstante des Motors (definiert durch Motormoment/Motorstrom) kann in erster Näherung als konstant angenommen werden, womit sich die obige Beziehung vereinfacht zu $M_{Br} = \Delta I * K_T$, wobei $\Delta I = I_2 - I_1$; die Momentenkonstante des Motors ist im Datenblatt des Motorherstellers angegeben. Für genauere Ergebnisse ist, wie mit der erstgenannten Formel angedeutet, die Abhängigkeit der Momentenkonstante von Motorstrom, Drehzahl und Motortemperatur zu berücksichtigen, so dass diese gegebenenfalls zu messen und aufzuzeichnen ist und in der o.g. Formel (1) unter Berücksichtigung von temperaturabhängigen Faktoren in einer softwaremäßig abgelegten Momentenkonstantentabelle des Herstellers mit korrigierten Momentenkonstanten das Bremsmoment zu bestimmen ist.

- Die Fig. 3 zeigt eine Kaskadenregelung zur Drehzahlregelung eines Motors 21 mit einer Motorbremse 22. Die Regelung beinhaltet einen Positionsregler 23, einen Drehzahlregler 24, einen Stromregler 25 und einen Leistungsverstärker 26 sowie einen Positionsgeber 27 und ein zwischen diesem und dem Drehzahlregler angeordnetes Differenzierglied 28 zur Bestimmung der Ist-Drehzahl N_{Ist} aus der zeitlichen Veränderung der durch den Positionsgeber 27 gemessenen Positionen. Der Bremse 22 ist eine Schalt- oder Steuerstufe 29 vorgeordnet. Die Motortemperatur wird über einen Temperatursensor 30 gemessen. Die Steuerung erfolgt über eine Steuereinheit 31, wie insbesondere einen Steuerrechner. Die Messung

und Auswertung der Messergebnisse erfolgt über eine Aufzeichnungseinheit 32.

Die Drehzahlregelung des Motors 21 erfolgt durch die Kaskadenregelung in üblicher Weise, wobei durch den Positionsregler 23 eine Soll-Drehzahl N_{Soll} vorgegeben, diese im Drehzahlregler 24 mit der über den Positionsgeber 27 und das Differenzierglied 28 gewonnenen Ist-Drehzahl N_{Ist} verglichen und bei Abweichung ein Soll-Stromwert I_{Soll} (der dem Soll-Drehmoment M_{Soll} entspricht) vorgegeben wird. Dieser wird mit dem Ist-Stromwert I_{Ist} verglichen und bewirkt bei einer Abweichung ein Stellsignal für den Leistungsverstärker 26, der den Motor mit der erforderlichen Spannung beaufschlagt. Zur Durchführung des Bremsentests wird die die Bremse 22 lüftende Lösespannung U_{Br} von der Steuereinheit 31 über die Schaltstufe 29 reduziert bzw. abgeschaltet, wobei die Bremse einfällt; diese reduziert damit die Motordrehzahl, was über den Positionsgeber 27 bzw. den Drehzahlregler 24 festgestellt wird, so dass im Rahmen der Drehzahlregelung die in Fig. 1a bis 1c dargestellte Stromerhöhung zur Aufrechterhaltung der Soll-Drehzahl N_{Soll} erfolgt.

Zur Messung des Bremsenzustandes werden durch die Aufzeichnung mit der Messeinheit 32 vorzugsweise die folgenden Werte erfasst: Ist-Drehzahl N_{Ist} 33, Soll-Strom I_{Soll} 34 und/oder Ist-Strom I_{Ist} 35, Bremsensteuersignal 36 sowie Motortemperatur 37. Aus diesen Werten wird dann in der oben beschriebenen Weise der Bremsenzustand bestimmt und mit früheren Daten verglichen. Die Ergebnisse werden abgespeichert, angezeigt und/oder ausgedruckt.

PATENTANWÄLTE

DIPL.-ING. **HEINER LICHTI**DIPL.-PHYS. DR. RER. NAT. **JOST LEMPERT**DIPL.-ING. **HARTMUT LASCH**

D-76207 KARLSRUHE (DURLACH)

POSTFACH 410760

TELEFON: (0721) 9432815 TELEFAX: (0721) 9432840

KUKA Roboter GmbH
Blücherstraße 144

86165 Augsburg

08. Dezember 2000
18174.8 Le/bu**Patentansprüche**

1. Verfahren zum Überprüfen der Bremse (22) eines Elektromotors (21), dadurch gekennzeichnet, dass in einer Messsequenz im drehzahlgeregelten Betrieb die Bremse (22) für kurze Zeit zum Einfallen gebracht wird, mindestens während dieser Zeit ein Motorstrom (I_{soll} , I_{ist}) gemessen und aufgrund der so gewonnenen Messdaten das Bremsmoment (M_{Br}) der Bremse (22) bestimmt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Bremsmoment (M_{Br}) aufgrund der Motorströme (I_1 , I_2) bei gelöster und bei eingefallener Bremse (22) bestimmt wird.
3. Verfahren nach Ansprüchen 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Bremse (22) für die Zeit mindestens einer Motorumdrehung einfällt.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass in einer Messsequenz der Bremseneinfall wiederholt wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass eine Umkehr der Drehrichtung des Motors (21) zwischen Bremseneinfällen oder nach Gruppen von Bremseneinfällen bei gleicher Drehrichtung vorgenommen wird.
5
6. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Messung bei einer Bewegung des Motors (21) durchgeführt wird, die durch ein gegebenenfalls vorhandenes Gravitationsmoment unterstützt wird.
10
7. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Motor- und/oder Bremsentemperatur (T_{Br}) gemessen und zur Korrektur des ermittelten Bremsmoments (M_{Br}) herangezogen wird.
15
8. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Messdaten (N_{ist} , I_{soll} , I_{ist} , T_{Br}/U_{br} ; M_{Br}) aufgezeichnet werden.
20
9. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Messdaten (N_{ist} , I_{soll} , I_{ist} , T_{Br}/U_{br} ; M_{Br}) angezeigt werden.
25
10. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Messdaten (N_{ist} , I_{soll} , I_{ist} , T_{Br} ; M_{Br}) ausgedruckt werden.
11. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Messdaten (N_{ist} , I_{soll} , I_{ist} , T_{Br} ; M_{Br}) verschiedener Messsequenzen automatisch verglichen werden.
30

PATENTANWÄLTE

DIPL.-ING. **HEINER LICHTI**DIPL.-PHYS. DR. RER. NAT. **JOST LEMPERT**DIPL.-ING. **HARTMUT LASCH**D-76207 KARLSRUHE (DURLACH)
POSTFACH 410760

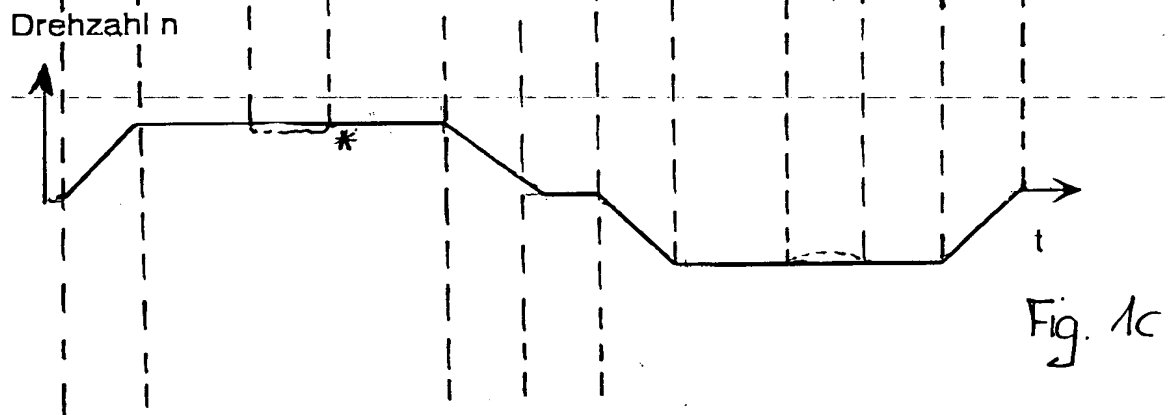
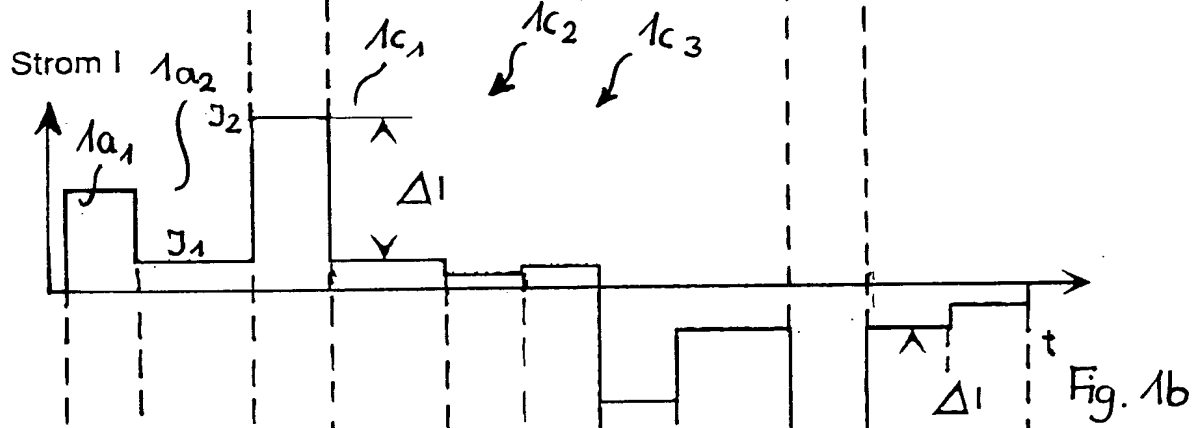
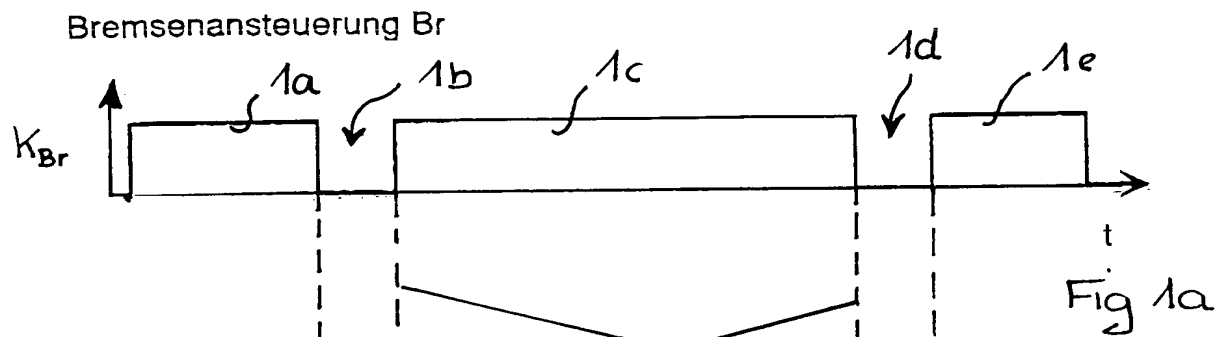
TELEFON: (0721) 9432815 TELEFAX: (0721) 9432840

KUKA Roboter GmbH
Blücherstraße 144

86165 Augsburg

08. Dezember 2000
18174.8 Le/bu**Zusammenfassung**

Zur Überwachung des Zustandes einer Motorbremse sieht die Erfindung ein Verfahren vor, mittels dessen in einer Messsequenz im Drehzahl geregelten Betrieb die Bremse für kurze
5 Zeit zum Einfallen gebracht wird, über diese Zeit ein Motorstrom gemessen und aufgrund der so gewonnenen Messdaten das Bremsmoment der Bremse bestimmt wird.



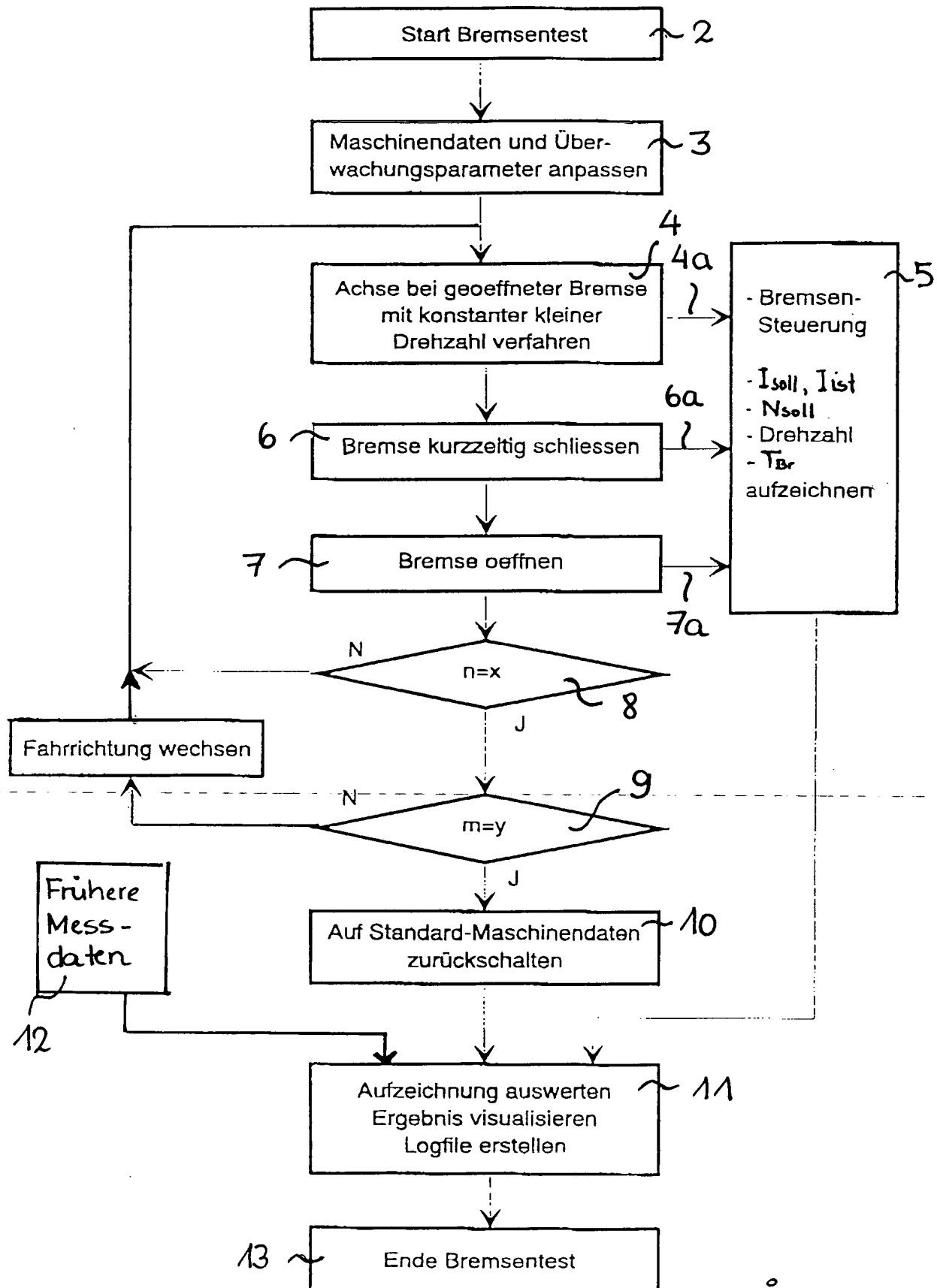
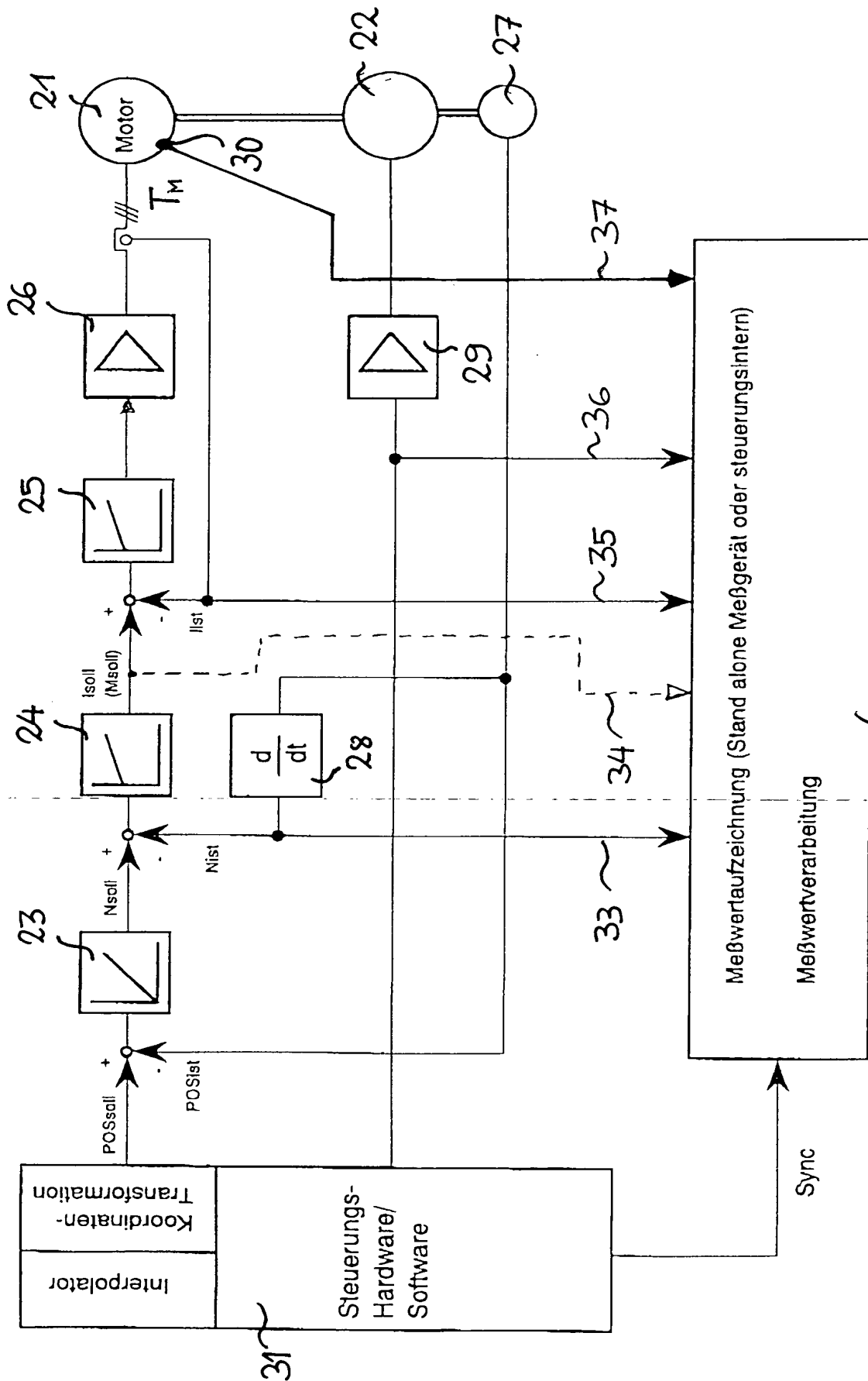


Fig. 2



32